

(19)



(11)

EP 3 425 188 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
09.01.2019 Patentblatt 2019/02

(51) Int Cl.:
F02D 19/06 ^(2006.01) **F02D 19/08** ^(2006.01)
F02D 19/12 ^(2006.01) **F02D 41/00** ^(2006.01)
F02D 19/10 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18182227.1**

(22) Anmeldetag: **06.07.2018**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
 GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
 PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
 Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **PGES Günther Herdin technisches
 Büro GmbH**
6200 Jenbach (AT)

(72) Erfinder:
 • **HERDIN, Ruediger**
2483 Ebreichsdorf (AT)
 • **FRANK, Clemens**
3430 Tulln an der Donau (AT)

(30) Priorität: **07.07.2017 AT 505662017**

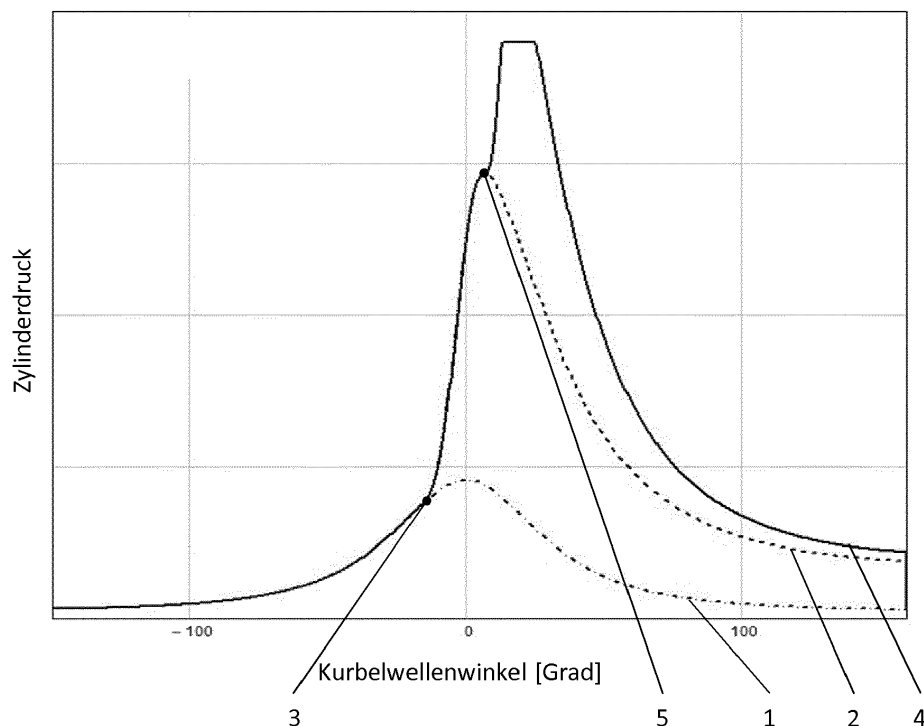
(74) Vertreter: **Beer & Partner Patentanwälte KG**
Lindengasse 8
1070 Wien (AT)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES VERBRENNUNGSMOTORS UND
 VERBRENNUNGSMOTOR**

(57) Bei einem Verbrennungsmotor und einem Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors, bei dem in einem Verbrennungstakt ein Luft-Brennstoff-Ge-

misch und ein Abgas-Luftgemisch sequentiell in einem Arbeitstakt verbrannt wird, werden im Verbrennungstakt sequentiell unterschiedliche Brennstoffe verbrannt.

Fig. 1

**EP 3 425 188 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors, bei dem in einem Verbrennungstakt ein Luft-Brennstoff-Gemisch verbrannt wird.

[0002] Bei der Umsetzung von Brennstoffen zur Fortbewegung und Energieerzeugung haben sich Verbrennungsmotoren durchgesetzt. Gasturbinen werden wegen ihrer hohen Leistungsdichte vor allem in der Luftfahrt verwendet und für Energieerzeugung vorwiegend in Leistungsgrößen größer 10MW eingesetzt. Bei den Brennstoffen werden neben Benzin und Dieselfraktionen auch Erdgas und andere gasförmige Brennstoffe immer wichtiger. Für methanhaltige Gase, wie Erdgas und Biogas, ist die Technologie schon sehr fortgeschritten und am Markt etabliert.

[0003] Wasserstoff ist zwar wegen Schwierigkeiten bei der Lagerung und beim Explosionsschutz problematisch, bringt aber mehrere eklatante Vorteile mit sich, die sich auszugsweise mit der einfachen Erzeugbarkeit und der ökologisch günstigen Umsetzung bei der Verbrennung zu Wasser kurz zusammenfassen lassen.

[0004] Wasserstoff stellt für den Betrieb von Kolbenmaschinen als Verbrennungsmotoren aufgrund der hohen Zündwilligkeit jedoch eine große Herausforderung dar. Dies liegt einerseits an der hohen Klopfneigung des Gases bei fetteren Bedingungen und andererseits bei extremem Magerbetrieb an den niedrigen Temperaturen, die bei der Verbrennung entstehen. Die hohe Klopfneigung erfordert eine niedrige Verdichtung und einen hohen Luftüberschuss bei der Verbrennung. Dadurch ergeben sich aber geringe Abgastemperaturen, welche sich negativ auf eine unter Umständen erforderliche Turboaufladung auswirken.

[0005] Motoren welche am Markt aktuell mit Wasserstoff betrieben werden, haben dementsprechend eine geringe Leistungsdichte und haben durch die teure Turboaufladung einen schwerwiegenden Kostennachteil.

[0006] Übliche Wasserstoffmotoren arbeiten als Ottomotoren mit Funkenzündung. In einigen Fällen werden für die Wasserstoffverbrennung sogenannte "Dual-Fuel-Motoren" verwendet. Bei diesen wird ein adaptierter Dieselmotor verwendet und Teile des Dieselmotors werden durch Wasserstoff ersetzt. Diese Motoren arbeiten vom Prinzip her wie ein Ottomotor, wobei die Zündung aber nicht durch einen Funken, sondern durch den Brennstoffstrahl erfolgt. Generell ist hier zu bemerken, dass die Entzündung des Dieselmotors ein hohes Verdichtungsverhältnis benötigt und somit auch die Klopfgrenzen zu niedrigeren Motorlasten abgesenkt werden müssen.

[0007] Der Nachteil dieses Konzeptes ist daher die sehr begrenzte Substitution des Diesels, da hier einerseits der Diesel als Zündquelle verwendet wird, somit kein reiner Wasserstoffbetrieb möglich ist, und der Motor andererseits durch den mengenmäßig reduzierten Dieselmotorkraftstoff nicht die erforderliche Leistung erbringen

kann.

[0008] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art zu schaffen, bei dem in erhöhtem Maß auch Brennstoffe eingesetzt werden können, deren Einsatz mit bestimmten Beschränkungen verbunden ist, wie dies beispielsweise bei Wasserstoff der Fall ist.

[0009] Gelöst wird diese Aufgabe bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch, dass im Verbrennungstakt sequentiell unterschiedliche Brennstoffe verbrannt werden.

[0010] Als Brennstoffe werden im Rahmen der vorliegenden Erfindung sowohl reine Brennstoffe als auch Brennstoffgemische, also Gemische unterschiedlicher Brennstoffe, verstanden, sofern nicht ausdrücklich etwas anderes beschrieben ist.

[0011] Durch das erfindungsgemäße Verfahren mit der sequentiellen Verbrennung unterschiedlicher Brennstoffe, d.h. einer Verbrennung unterschiedlicher Brennstoffe in zwei zeitlich aufeinander folgenden Schritten, ist es einerseits möglich, bestimmte Brennstoffe gezielt in jenem Teil des Verbrennungszyklus zu verbrennen, wo dies am problemlosesten möglich und/oder am effizientesten ist, und andererseits die Eigenschaften eines Brennstoffes mit den Eigenschaften eines anderen Brennstoffes, der vorher oder nachher verbrannt wird, zu kombinieren, sodass insgesamt eine sehr effiziente Umsetzung der Brennstoffe in einem einzigen Verbrennungstakt erzielt werden kann.

[0012] Wenngleich die Erfindung nicht auf einen klassischen Viertaktmotor beschränkt ist und daher beispielsweise auch bei einem Zweitaktmotor zur Anwendung kommen kann, wird die Anwendung der Erfindung auf Viertaktmotore bevorzugt, bei denen in einem ersten Takt Gas in einen Brennraum zugeführt wird, in einem zweiten Takt das Gas verdichtet wird, in einem dritten Takt die Verbrennung stattfindet und im vierten Takt die Verbrennungsgase ausgestoßen werden, und in der Folge beschrieben. Der erste Teil der Kraftstoffzuführung kann beispielsweise auch noch in den Kompressionstakt hineinreichen.

[0013] Aus dem klassischen Otto- oder Diesel-Prozess wird erfindungsgemäß ein neuartiger Prozess, wobei der Verbrennungstakt in zwei Teile aufgeteilt wird. Dies wird in der Folge am Beispiel der Brennstoffe Wasserstoff und Diesel beschrieben.

[0014] Im ersten Prozesstakt wird, wie an sich bekannt, ein Brennstoff/Luftgemisch, insbesondere ein Luft/Wasserstoffgemisch, angesaugt. Im zweiten Prozesstakt wird das Brennstoff/Luftgemisch verdichtet. Im ersten Schritt des dritten Prozesstaktes wird das Brennstoff/Luftgemisch mit Hilfe einer Zündeinrichtung gezündet und verbrennt durch die hohe Flammengeschwindigkeit sehr rasch. Im zweiten Schritt des dritten Prozesstaktes wird in den bereits fast vollständig ausgebrannten Zylinder ein flüssiger Kraftstoff, insbesondere Dieselmotorkraftstoff, eingespritzt. Durch die bereits bestehenden, hohen Temperaturen entzündet sich dieser mit sehr klei-

nem Zündverzug, wodurch der Energiegehalt und die Temperatur, sowie der Druck des Zylinders weiter gesteigert wird. Im vierten Prozesstakt wird das verbrannte Gemisch ausgestoßen.

[0015] In einer bevorzugten und daher nicht zwingenden Ausführungsform der Erfindung wird dementsprechend während des Ansaugtaktes ein Kraftstoff/Luftgemisch mit hohem Luftüberschuss angesaugt und dieses Gemisch dann mit Hilfe einer Fremdzündung (z.B. einer Zündkerze) entzündet. Nahe dem oberen Totpunkt ist das Gemisch bereits weitgehend verbrannt und es erfolgt eine weitere Kraftstoffzufuhr, die mit Hilfe des Restsaurestoffes zu einer späteren Verbrennung dieses Anteiles führt.

[0016] Diese Vorgangsweise ist insbesondere bei der Verwendung von Gasen mit hohem Wasserstoffgehalt oder reinem Wasserstoff von großem Vorteil. Durch die im zweiten Schritt des dritten Prozesstaktes eingebrachte Energie ist es nicht nur möglich, eine hohe Sollleistung zu erreichen, sondern zusätzlich auch die thermische Energie für den Turbolader bereitzustellen und somit die Leistungsdichte des Motors auf ein ähnliches Niveau wie das eines baugleichen Dieselmotors zu heben.

[0017] Die Erfindung ist nicht auf das vorstehend beschriebene Beispiel beschränkt, bei welchem über einen Gasmischer oder eine Gaseindüsung in den Ansaugtrakt ein Gemisch aus Luft und erstem Brennstoff in den Zylinder angesaugt wird. Vielmehr ist die Erfindung beispielsweise auch bei einer Direkteinspritzung anwendbar, bei der während des Verdichtungstaktes auch der benötigte Kraftstoff in den Brennraum eingespritzt wird. Eine Saugrohreinspritzung oder eine Kombination aller vorgenannten Systeme bzw. anderer Systeme ist ebenso möglich.

[0018] Bevorzugt ist bei der Erfindung, wenn das Gemisch aus Luft und erstem Brennstoff fremdgezündet wird. Die alternative Möglichkeit einer Selbstzündung ist im Rahmen der Erfindung aber ebenso möglich.

[0019] Weiters ist bei der Erfindung bevorzugt, dass die Verbrennung des ersten Brennstoffes im Wesentlichen in einem Gleichraumprozess erfolgt. Dies gilt insbesondere für Brennstoffe mit einer hohen Zündwilligkeit und einer hohen Flammengeschwindigkeit, was insbesondere für Wasserstoff und Gase mit hohem Wasserstoffgehalt zutrifft.

[0020] Insbesondere ist bei der Erfindung bevorzugt, dass der Schwerpunkt der Verbrennung des ersten Brennstoffes nahe dem oberen Totpunkt liegt. Wenn der Schwerpunkt der Verbrennung des ersten Brennstoffes höchstens $+8^\circ$ vom oberen Totpunkt abweicht, hat dies den Vorteil, dass damit insbesondere im Volllastbereich die Klopfneigung gering gehalten werden kann, und andererseits für die Verbrennung des zweiten Brennstoffes ausreichend Zeit verbleibt. Dies gilt insbesondere, wenn der Schwerpunkt der Verbrennung des ersten Brennstoffes höchstens $+5^\circ$ und insbesondere höchstens $+3^\circ$ vom oberen Totpunkt abweicht. Insbesondere im Teillastbereich ist es aber auch möglich, dass der

Schwerpunkt der Verbrennung des ersten Brennstoffes bis zu $+15^\circ$ vom oberen Totpunkt abweicht.

[0021] Zusätzlich oder alternativ ist bei der Erfindung bevorzugt, wenn die Verbrennung des zweiten Brennstoffes im Wesentlichen in einem Gleichdruckprozess erfolgt, wie dies beispielsweise beim zweiten Teil der Verbrennung nach dem oberen Totpunkt bei einem Dieselmotor stattfindet.

[0022] Um eine möglichst problemlose und effiziente Verbrennung im gesamten dritten Takt zu erzielen, ist bei der Erfindung weiters bevorzugt, wenn der Summenswerpunkt aus Gleichdruck- und Gleichraumverbrennung 7 bis 20° nach dem oberen Totpunkt liegt.

[0023] Der Einspritzzeitpunkt des zweiten Brennstoffes in den Brennraum wird bevorzugt so gewählt, dass wenigstens 60%, vorzugsweise wenigstens 70%, bevorzugt wenigstens 80% und besonders bevorzugt wenigstens 90% des ersten Brennstoffes verbrannt sind.

[0024] Durch einen frühen Einspritzzeitpunkt kann der Summenswerpunkt in Richtung zum oberen Totpunkt verschoben und der Druck im Brennraum erhöht werden, womit auch eine sichere Selbstzündung gewährleistet werden kann. Durch einen späteren Einspritzzeitpunkt können Druckspitzen gemindert und der Verbrennungsvorgang insgesamt verlängert werden, um die Abgas-temperatur unmittelbar zu beeinflussen.

[0025] Insgesamt ist es bei der Erfindung bevorzugt, wenn der erste Brennstoff eine höhere Verbrennungsgeschwindigkeit als der zweite Brennstoff aufweist, damit die Verbrennung des zweiten Brennstoffes einerseits durch die schnelle Verbrennung des ersten Brennstoffes möglichst frühzeitig und andererseits energetisch effektiv verlaufen kann.

[0026] Die geometrische Auslegung des Motors wird bevorzugt so gewählt, dass die kombinierte Verbrennung bei einem Verdichtungsverhältnis ε von 6 bis 11 stattfindet. Der Vorteil dieses Verhältnisses liegt darin, dass auf die Klopfneigung des Kraftstoffes eingegangen und damit ein Leistungsmaximum für den ersten Anteil des Kraftstoffes erreicht werden kann.

[0027] Weiters ist bei der Erfindung bevorzugt, wenn die Verbrennung des ersten Brennstoffes bei einem Kraftstoff/Luftverhältnis λ von 2,5 bis 7 stattfindet. Der Vorteil dieses Verhältnisses liegt darin, dass speziell mit Wasserstoff der Motor drosselfrei und mit hohem Wirkungsgrad betrieben werden kann.

[0028] Als bevorzugte Brennstoffe werden bei der Erfindung als erster Brennstoff Wasserstoff oder ein Gas mit hohem Wasserstoffgehalt und als zweiter Brennstoff Diesel, Benzin oder ein methanhaltiges Gas, wie Erdgas oder Biogas, verwendet.

Wie bereits einleitend erwähnt, sind im Rahmen der Erfindung als erster und zweiter Brennstoff auch beliebige Mischungen, insbesondere der vorstehend als bevorzugt angegebenen Brennstoffe, möglich. Dem ersten Brennstoff können daher auch Anteile des zweiten Brennstoffes beigemischt werden und umgekehrt. Auch ist die Verwendung nicht konkret erwähnter Brennstoffe und Mi-

sungen dieser bzw. mit den konkret erwähnten Brennstoffen möglich.

[0029] Im Rahmen der Erfindung ist auch nicht ausgeschlossen, dass sequentiell mehr als zwei, insbesondere drei, Brennstoffe in einem Verbrennungstakt verbrannt werden.

Insbesondere ist bei einem ersten Brennstoff, wie Wasserstoff, aber nicht ausschließlich hierfür, bevorzugt, wenn der energetische Anteil des ersten Brennstoffes mindestens 50% beträgt, was durch das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht wird und einen Einsatz von derartigen Brennstoffen in einem erheblichen Ausmaß auch bei Motoren mit hoher Leistungsdichte ermöglicht.

[0030] Ein besonders geeignetes Verfahren zur Regelung des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass anhand von Messdaten eines Drucksensors mit einer Closed Loop Regelung die Massenaufteilung des ersten und zweiten Brennstoffes nach den Kriterien für einen besten Wirkungsgrad geregelt wird.

[0031] Alternativ kann ein besonders geeignetes Verfahren zur Regelung des erfindungsgemäßen Verfahrens auch darin bestehen, dass anhand von Messdaten eines Drucksensors mit einer Closed Loop Regelung die Massenaufteilung des ersten und zweiten Brennstoffes nach den Kriterien für eine beste NOx Emissionen geregelt wird.

[0032] Schließlich kann ein besonders geeignetes Verfahren zur Regelung des erfindungsgemäßen Verfahrens auch darin bestehen, dass anhand von Messdaten eines Drucksensors mit einer Closed Loop Regelung die Massenaufteilung des ersten und zweiten Brennstoffes nach den Erfordernissen der Aufladung geregelt wird.

[0033] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung bevorzugter, den Schutzbereich nicht beschränkender, Ausführungsbeispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die angeschlossenen Zeichnungen. Es zeigt:

- Fig. 1 ein beispielhaftes Diagramm mit einem Druckverlauf in einem Brennraum am Beispiel Wasserstoff und Diesel,
- Fig. 2 ein beispielhaftes Diagramm mit einem Wärmeverlauf in einem Brennraum am Beispiel Wasserstoff und Diesel, und
- Fig. 3 eine grob schematische Darstellung eines Zylinderkopfes am oberen Ende eines Zylinders.

[0034] In Fig. 1 ist beispielhaft ein Diagramm mit einem Druckverlauf in einem Brennraum dargestellt, wobei allerdings die beiden dargestellten Takte, nämlich der Ansaugtakt und der Verbrennungstakt, unvollständig, nämlich nur von etwa -150° bis +150°, dargestellt sind. Auf der Abszisse des Diagramms ist der Kurbelwellenwinkel aufgetragen. Beim Kurbelwellenwinkel von 0° befindet sich der Zylinder am oberen Totpunkt. Auf der Ordinate des Diagramms ist der Druck im Zylinder bzw. im Brennraum aufgetragen.

[0035] Die unterste Kurve 1 im Diagramm stellt den

Druckverlauf im Brennraum ohne Brennstoff dar (Verdichtungskurve). Die mittlere Kurve 2 stellt den Druckverlauf dar, wenn in den Brennraum ein Gemisch aus Luft und Wasserstoff mit einem hohen Überschuss von Luft, beispielsweise mit einem λ von 3, zugeführt und kurz vor Punkt 3 gezündet wird. Die Kurve 4 stellt den Druckverlauf dar, wenn nach dem Zünden des Gemisches aus Luft und Wasserstoff kurz vor Punkt 5 zusätzlich Dieselbrennstoff in den Brennraum eingespritzt wird und dort zündet. Zu diesem Zeitpunkt sind beispielsweise bereits 95% des Wasserstoffes verbrannt.

[0036] In Fig. 2 ist auf der Ordinate der Wärmeverlauf und auf der Abszisse wiederum der Kurbelwellenwinkel aufgetragen. Die Kurve 2 zeigt den Verlauf bzw. die Zunahme der Wärme im Brennraum, nachdem der Wasserstoff kurz vor Punkt 3 gezündet wurde, und stellt nur die beim Verbrennen des Wasserstoffes entstehende Wärme dar. Die Kurve 6 zeigt den Verlauf bzw. die Zunahme der Wärme im Brennraum, die ausschließlich durch die Verbrennung des Diesels entsteht, nachdem dieser kurz vor dem Punkt 5 gezündet hat. Die Kurve 4 zeigt schließlich den Summenverlauf der Wärme, die durch die Verbrennung des Wasserstoffes und des Diesels erzeugt wird.

[0037] Mit der Linie 7 ist der Schwerpunkt der Verbrennung des ersten Brennstoffes, also Wasserstoff, gekennzeichnet, und mit der Linie 8 der Schwerpunkt der Verbrennung des zweiten Brennstoffes, also Diesel. Der Summenschwerpunkt aus der Verbrennung des ersten und des zweiten Brennstoffes ist durch die Linie 9 gekennzeichnet. Es ist im Diagramm von Fig. 2 zu sehen, dass der Schwerpunkt der Verbrennung des ersten Brennstoffes bei etwa -3°, also nahe dem oberen Totpunkt, der Schwerpunkt der Verbrennung des zweiten Brennstoffes bei ca. 13° und der Summenschwerpunkt der Verbrennung bei etwa 8° liegt.

[0038] Durch Veränderung der Menge des ersten und/oder des zweiten Brennstoffes, des Zeitpunktes bzw. Winkels der Zündung des ersten Kraftstoffes und des Zeitpunktes der Einspritzung des zweiten Brennstoffes können sowohl die Lagen der Schwerpunkte bzw. des Summenschwerpunktes als auch die Massenaufteilung und der Druckverlauf verändert werden.

[0039] In Fig. 3 ist grob schematisch ein erfindungsgemäßer Zylinder 10 mit einem Zylinderkopf 11 und einem Kolben 12 dargestellt, die einen Brennraum 13 einschließen. Diese Teile sind wie an sich im Stand der Technik hinlänglich bekannt ausgeführt. Insbesondere sind ein Einlasskanal 14, ein Auslasskanal 15, sowie entsprechend ein Einlassventil 16 und ein Auslassventil 17 vorgesehen, ebenso wie ein Drucksensor 18. Im Unterschied zu einem herkömmlichen Verbrennungsmotor sind beim erfindungsgemäßen Verbrennungsmotor jedoch sowohl eine Zündkerze 19 zum Zünden des ersten Brennstoffes als auch eine Einspritzdüse 20 für den zweiten Brennstoff vorgesehen. Wie an sich im Stand der Technik bekannt, kann pro Zylinder 10 natürlich auch mehr als ein Einlasskanal 14, mehr als ein Auslasskanal

15, sowie entsprechend ein oder mehrere Einlassventile 16 und ein oder mehrere Auslassventile 17 vorgesehen sein, ebenso wie mehr als eine Zündkerze 19 und mehr als eine Einspritzdüse 20.

[0040] Mit dem Drucksensor 18 wird der Istzustand der Verbrennung überwacht. In einer sogenannten "Closed Loop" Regelung kann anhand der Messdaten des Drucksensors 18 die Massenaufteilung des ersten und zweiten Brennstoffes nach den Kriterien für einen besten Wirkungsgrad (gemeinsame Schwerpunktlage der Verbrennung) geregelt werden. Anhand der Messdaten des Drucksensors 18 kann aber auch die Massenaufteilung des ersten und zweiten Brennstoffes nach den Kriterien für eine beste NO_x Emissionen geregelt werden. Schließlich kann anhand der Messdaten des Drucksensors 18 auch die Massenaufteilung des ersten und zweiten Brennstoffes nach den Erfordernissen der Aufladung geregelt werden. Kombinationen dieser und anderer, nicht konkret erwähnter, Regelverfahren sind im Rahmen der Erfindung ebenso möglich, um nach den jeweiligen Anforderungen zu einem optimalen Prozess zu kommen. Selbstverständlich können anhand der Messdaten des Drucksensors 18 auch der Zündzeitpunkt der Zündkerze 19 und der Einspritzzeitpunkt der Einspritzdüse 20 optimiert werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Verbrennungsmotors, bei dem in einem Verbrennungstakt ein Luft-Brennstoff-Gemisch verbrannt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** im Verbrennungstakt sequentiell unterschiedliche Brennstoffe verbrannt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** in einem ersten Takt Gas in einen Brennraum zugeführt wird, in einem zweiten Takt das Gas verdichtet wird, in einem dritten Takt die Verbrennung stattfindet und im vierten Takt die Verbrennungsgase ausgestoßen werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** im zweiten Takt nur Luft oder Gas in Form eines Gemisches aus Luft und einem ersten Brennstoff verdichtet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** am Beginn des dritten Taktes ein erster Brennstoff direkt in den Brennraum eingespritzt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Gemisch aus Luft und erstem Brennstoff fremdgezündet wird oder dass das Gemisch aus Luft, den Verbrennungsgasen aus der Verbrennung des ersten Brennstoffes und dem zweiten Brennstoff selbst zündet.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbrennung des ersten Brennstoffes im Wesentlichen in einem Gleichraumprozess erfolgt und/oder dass die Verbrennung des zweiten Brennstoffes im Wesentlichen in einem Gleichdruckprozess erfolgt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schwerpunkt der Verbrennung des ersten Brennstoffes nahe dem oberen Totpunkt liegt, und bevorzugt höchstens $+8^\circ$, besonders bevorzugt höchstens $+5^\circ$ und insbesondere höchstens $+3^\circ$ vom oberen Totpunkt abweicht.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Summenschwerpunkt aus Gleichdruck- und Gleichraumverbrennung 7 bis 20° nach dem oberen Totpunkt liegt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Brennstoff direkt in den Brennraum eingespritzt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** der zweite Brennstoff in den Brennraum eingespritzt wird, nachdem wenigstens 60%, vorzugsweise wenigstens 70%, bevorzugt wenigstens 80% und besonders bevorzugt wenigstens 90% des ersten Brennstoffes verbrannt sind.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der erste Brennstoff eine höhere Verbrennungsgeschwindigkeit als der zweite Brennstoff aufweist.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** als erster Brennstoff Wasserstoff oder ein Gas mit hohem Wasserstoffgehalt verwendet wird und/oder dass als zweiter Brennstoff Diesel, Benzin oder ein methanhaltiges Gas, wie Erdgas oder Biogas, verwendet wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die kombinierte Verbrennung aller Brennstoffe bei einem Verdichtungsverhältnis (ϵ) von 6 bis 11 stattfindet.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verbrennung des ersten Brennstoffes bei einem Kraftstoff/Luftverhältnis (λ) von 2,5 bis 7 stattfindet.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** der energetische Anteil des ersten Brennstoffes mindestens 50% beträgt.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** der minimale Dieseleanteil zwischen Null und der Leerlaufmenge, vorzugsweise max. 10 % der Vollastmenge, des jeweiligen Injektors ist.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

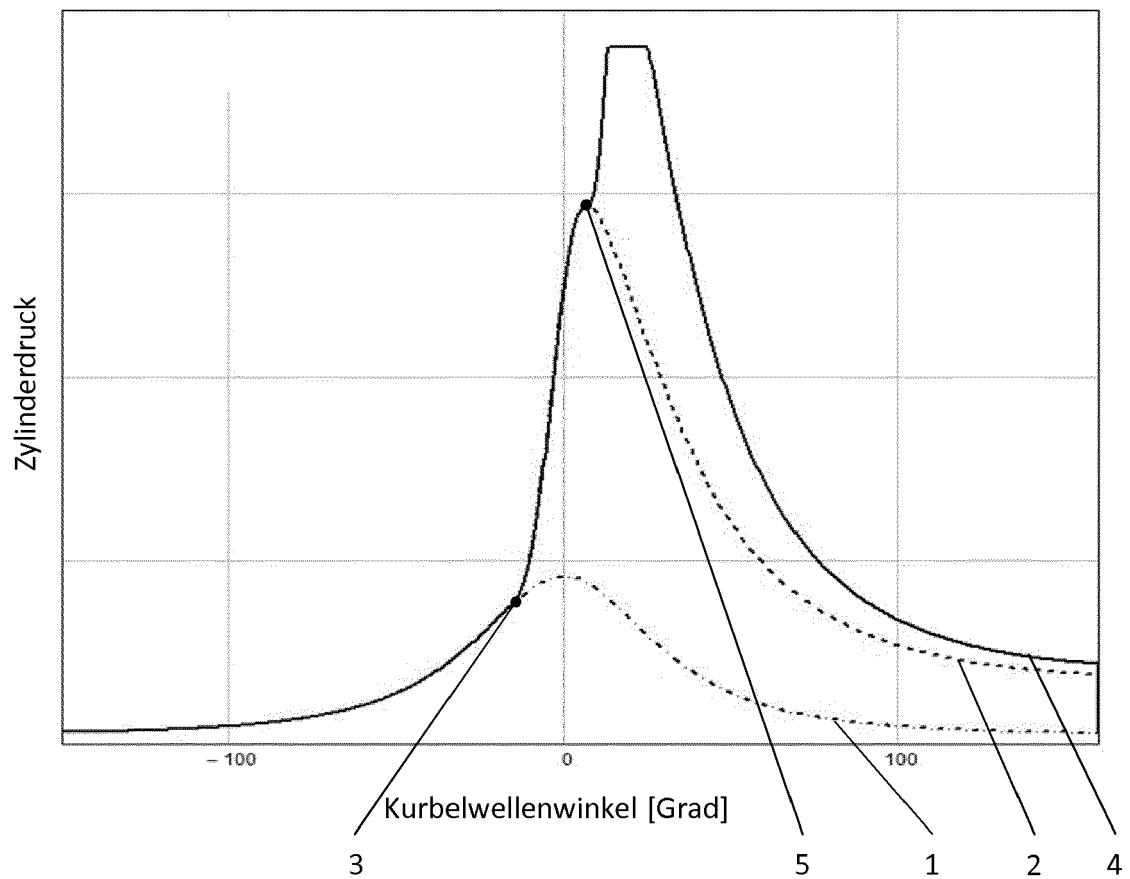


Fig. 2

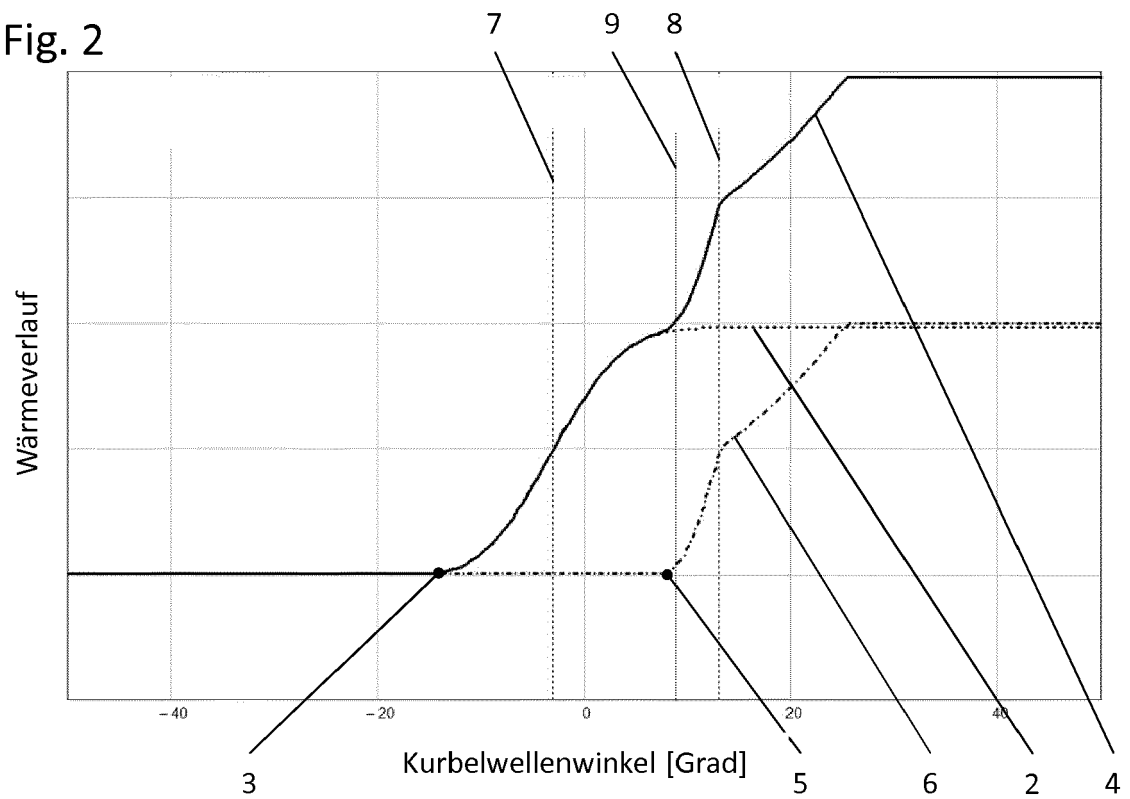
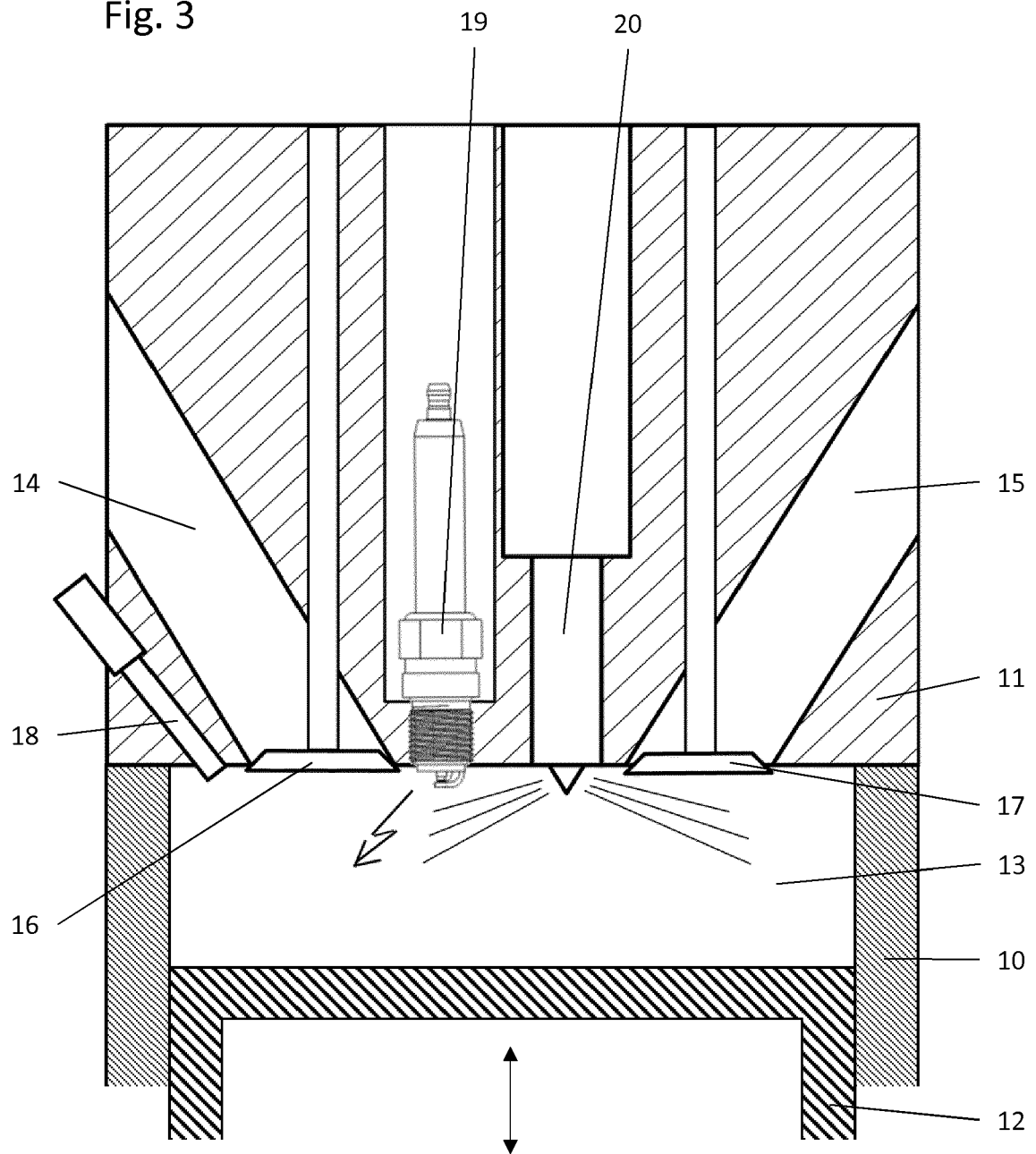


Fig. 3





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 18 18 2227

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	JP 2006 052686 A (TOYOTA MOTOR CORP) 23. Februar 2006 (2006-02-23)	1-3, 5-12,14	INV. F02D19/06
Y	* Absätze [0001] - [0005], [0020] - [0049]; Abbildungen 1,2,5,6 *	4,13,15, 16	F02D19/08 F02D19/12 F02D41/00
X	US 2015/136047 A1 (HOU DEYANG [US]) 21. Mai 2015 (2015-05-21)	1,3,5, 7-10,12	ADD. F02D19/10
	* Absätze [0008] - [0010], [0013] - [0025], [0052] - [0061]; Abbildungen 2-4 *		
Y	EP 1 448 884 A1 (WESTPORT RES INC [CA]) 25. August 2004 (2004-08-25)	4,15,16	
	* Absätze [0032] - [0034] *		
Y	US 2004/055281 A1 (TANG XIAO GUO [US] ET AL) 25. März 2004 (2004-03-25)	13	
	* Absätze [0004] - [0006] *		
A	WO 2004/101972 A1 (BAYERISCHE MOTOREN WERKE AG [DE]; RINGLER JUERGEN [DE]; STROBL WOLFGAN) 25. November 2004 (2004-11-25)	1-16	
	* das ganze Dokument *		
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 9. November 2018	Prüfer Deseau, Richard
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 18 18 2227

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

09-11-2018

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
JP 2006052686 A	23-02-2006	KEINE	
US 2015136047 A1	21-05-2015	US 2015136047 A1 WO 2012155122 A2	21-05-2015 15-11-2012
EP 1448884 A1	25-08-2004	AU 2002342473 A1 BR 0214298 A CA 2465182 A1 CN 1589369 A EP 1448884 A1 US 2002070295 A1 US 2004256495 A1 WO 03044358 A1	10-06-2003 21-09-2004 30-05-2003 02-03-2005 25-08-2004 13-06-2002 23-12-2004 30-05-2003
US 2004055281 A1	25-03-2004	CA 2441714 A1 CN 1523217 A NZ 527179 A US 2004055281 A1 US 2004237512 A1	20-03-2004 25-08-2004 26-11-2004 25-03-2004 02-12-2004
WO 2004101972 A1	25-11-2004	DE 10321794 A1 WO 2004101972 A1	09-12-2004 25-11-2004

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82